

PAT-NO: JP411337530A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11337530 A
TITLE: ULTRASONIC TESTING
METHOD OF BEARING
RING

PUBN-DATE: December 10, 1999

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
KIUCHI, AKIHIRO	N/A
KAMAMURA, KIKUAKI	N/A
OHORI, MANABU	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
-------------	----------------

Best Available Copy

NIPPON SEIKO KKN/A

APPL-NO: JP10146180

APPL-DATE: May 27, 1998

INT-CL (IPC): G01N029/10

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide such a bearing that is guaranteed against internal defects, by precisely detecting a defect of the whole section from the surface of a bearing ring to the inside, especially the existence of a large nonmetal inclusion inside the bearing ring.

SOLUTION: In this testing method, a bearing ring 2 and a probe 3 for ultrasonic inspection are arranged in an ultrasonic wave transfer medium, such as water, and ultrasonic wave is transmitted from the probe 3 for ultrasonic inspection to the bearing ring 2, and a defect of the bearing ring 2 is detected by an ultrasonic wave echo reflected from the bearing ring 2. In this case, at least the range reaching the depth of 2 mm below the surface, which is deeper than the maximum shearing stress position of the bearing ring 2, is inspected by an angle beam method with an angle of incidence of 10-30°, preferably, 25-30°, and besides, a deeper range than the flaw detection

range by the angle beam method is inspected by using a normal beam method with an angle of incidence of $0-10^{\circ}$, preferably, $0-5^{\circ}$, to thereby execute flaw detection of the whole section of the **bearing ring** 2.

COPYRIGHT: (C)1999, JPO

(11)特許出願公開番号

特開平11-337530

(43)公開日 平成11年(1999)12月10日

(51) Int.Cl.⁸
G 0 1 N 29/10

識別記号
502

F I
G O I N 29/10

502

審査請求 未請求 請求項の数2 OL (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平10-146180

(22)出願日 平成10年(1998)5月27日

(71)出願人 000004204

日本精工株式会社

東京都品川区大崎1丁目6番3号

(72) 発明者 木内 昭広

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

(72)発明者 鎌村 企久彰

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

(72)發明者 大堀 學

神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

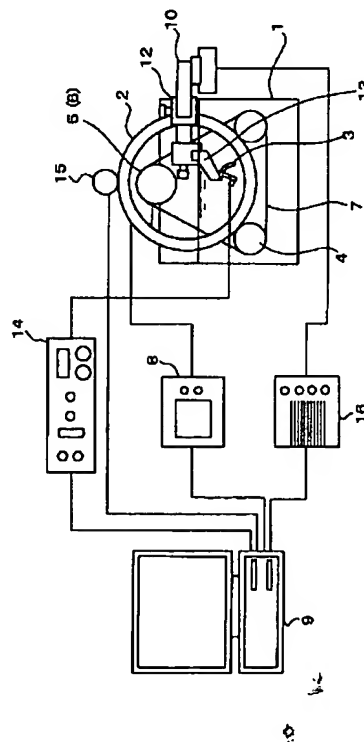
(74) 代理人 弁理士 森 哲也 (外2名)

(54) 【発明の名称】 軸受リングの超音波探傷検査方法

(57) 【要約】

【課題】 軸受リングの表面から内部までの全断面の欠陥、特に軸受リングの内部の大きな非金属介在物の存在を精度良く検出して内部欠陥を保証された軸受を提供する。

【解決手段】 軸受リング2及び超音波探傷用探触子3を例えば水等の超音波伝達媒体中に配置し、該超音波探傷用探触子3から軸受リング2に超音波を送信して該軸受リング2から反射してくる超音波エコーにより軸受リング2の欠陥を検出する超音波探傷検査方法において、少なくとも軸受リング2の最大せん断応力位置よりも深い表面下2mmまでを入射角10°～30°、好ましくは25°～30°の斜角探傷法で探傷し、更に、該斜角探傷法による探傷範囲よりも深い範囲を入射角0°～10°、好ましくは0°～5°の垂直探傷法を用いて探傷し、これにより、軸受リング2の全断面を探傷する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 軸受リング及び超音波探傷用探触子を超音波伝達媒体中に配置し、該超音波探傷用探触子から前記軸受リングに超音波を送信して該軸受リングから反射してくる超音波エコーにより前記軸受リングの欠陥を検出する軸受リングの超音波探傷検査方法において、少なくとも前記軸受リングの最大せん断応力位置よりも深い表面下2mmまでを斜角探傷法で探傷し、更に、該斜角探傷法による探傷範囲よりも深い範囲を垂直探傷法を用いて探傷し、これにより、前記軸受リングの全断面を探傷することを特徴とする軸受リングの超音波探傷検査方法。

【請求項2】 軸受リング及び超音波探傷用探触子を超音波伝達媒体中に配置し、該超音波探傷用探触子から前記軸受リングに超音波を送信して該軸受リングから反射してくる超音波エコーにより前記軸受リングの欠陥を検出する軸受リングの超音波探傷検査方法において、前記超音波探傷用探触子から前記軸受リングに送信する超音波を周波数30MHz以下とし、且つ、該超音波が送信される前記軸受リングは、焼入れ、焼戻しの熱硬化処理、又は浸炭若しくは浸炭窒化、焼入れ、焼戻しの熱硬化処理を行った後に、研削加工を施したものをを用いることを特徴とする軸受リングの超音波探傷検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、特に鉄鋼用ロールネック軸受のように大きな荷重が加わる円すいころ形又は円筒ころ形転がり軸受の軸受リングに好適な超音波探傷検査方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、軸受リングの内部欠陥を検査する超音波探傷検査方法としては、軸受リング用鋼材の製鋼工程にて、圧延後の鋼材を水中又は台上で外周面から内部へ超音波を伝達させて該軸受リングの探傷を行う垂直探傷法が知られている（特殊鋼46巻6号、P31参照、（社）特殊鋼倶楽部編）。

【0003】また、ボールやころ等転動体の表面や内部の欠陥を検査する超音波探傷検査方法としては、15～50MHzの周波数の超音波を該転動体に送信して極微小欠陥を検出する方法が多く用いられている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の軸受リング用鋼材の超音波探傷検査方法においては、主に鋼材内部のブローホールや圧延での鋼材の未圧着部分等の欠陥を検出することが主目的であり、鋼材表面近傍の微小欠陥や鋼材内部の数100μm程度の大型の非金属介在物の検出を目的としたものではなかった。

【0005】これは鋼材表面が圧延されたままの粗い状態であるため超音波探傷では鋼材表面直下の不感帯が大きくなる、更に、鋼材には曲がり、ねじれ等があるため

鋼材と探触子との距離を一定に保つことは困難であり、特に表面近傍の微小欠陥の検出は不可能であった。また、直径100mmを超えるような太い径の鋼材内部を探傷する場合においては、超音波の減衰による感度の低下を防ぐために探傷周波数を低くする必要があるため、数mm程度の大きさの欠陥しか検出することができないからである。

【0006】一方、転動体の検査に用いられてきた超音波探傷法は、表面きずや極最表面の欠陥の探傷を効率的に行うことを主目的としたものであり、極微小欠陥の検出が可能な15～50MHzの非常に高い周波数が用いられてきたことから目的が理解できる。

【0007】また、最近の技術進歩により、高い周波数（例えば50～150MHz）を用いることで例えば0.01mm（10μm）程度までの微小な非金属介在物を検出することが可能となってきたものの、周波数を高くすると鋼材内部での超音波の減衰が大きくなり（鋼材表面の粗さが悪くなるとさらに超音波の減衰が大きくなる。）、鋼材表面から例えば3mm程度の範囲までしか探傷することができない。このため、特に軸受リングのように内部まで欠陥の探傷が必要な製品を効率よく探触することは不可能であった。

【0008】ところで、軸受リングに使用される鋼材は近年の製鋼技術の向上により非金属介在物の総量が少なくなって、特に大型の非金属介在物に代表される地きず等の欠陥はその発生頻度は低くなったものの、鋼材内部に残留する場合があります、これら地きずを起因とする軸受の早期剥離が生じる場合があった。このため、軸受の信頼性向上のために、鋼材の内部に残留する地きず等の欠陥を予め効果的に検出する方法が望まれていた。

【0009】例えば、鉄鋼圧延用軸受などは非常に大きな荷重を受けるため、鋼材内部に生じる最大のせん断応力位置も表面近傍から表面下数mmと深い位置にまで及ぶことになる。したがって、鋼材の表面直下はもとより、更に深い内部の欠陥を検出することが必要となる。

【0010】なお、超音波の周波数を高くして鋼材中の比較的小さい非金属介在物の存在分布を検査する方法として、特開平9-257761号公報に開示されている方法があるが、これは、鋼材のサンプルを、表面を研削仕上げにて粗さを調整した後に検査する方法であり、鋼材全数を検査することは困難である。

【0011】本発明はかかる不都合を解消するためになされたものであり、軸受リングの表面から内部までの全断面の欠陥、特に軸受リングの内部の大きな非金属介在物の存在を精度良く検出することができるようになって、内部欠陥を保証された軸受を提供することができる軸受リングの超音波探傷検査方法を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】かかる目的を達成するた

めに、請求項1に係る軸受リングの超音波探傷検査方法は、軸受リング及び超音波探傷用探触子を例えば水等の超音波伝達媒体中に配置し、該超音波探傷用探触子から前記軸受リングに超音波を送信して該軸受リングから反射してくる超音波エコーにより前記軸受リングの欠陥を検出する軸受リングの超音波探傷検査方法において、少なくとも前記軸受リングの最大せん断応力位置よりも深い表面下2mmまでを入射角10°〜30°、好ましくは25°〜30°の斜角探傷法で探傷し、更に、該斜角探傷法による探傷範囲よりも深い範囲を入射角0°〜10°、好ましくは0°〜5°の垂直探傷法を用いて探傷し、これにより、前記軸受リングの全断面を探傷することを特徴とする。

【0013】この場合、超音波探傷用探触子としては、指向性の強い焦点型探触子を用いることが好ましい。転がり軸受、特に円すいころ形軸受の軌道面の超音波探傷については、軸方向面が三次元的に複雑な形状なため、接触式手探傷法のように探触子をリングの軌道面に密着させることが難しく、超音波の入射条件を一定に保つことは困難であった。

【0014】また、円すいころ形の転がり軸受は、図14に示すように、探傷軌道面を展開した形が矩形にならないため、表面波を利用した場合は、伝播する超音波が短距離で軸受端面で反射するために探傷範囲が狭くなり、何度も探触子を移動させなければならないので検査時間が長くなるという独特の問題があった。

【0015】これらの問題点の解決については、上記水浸式の垂直探傷法又は斜角探傷法を用い、目的とする探傷範囲に応じて探傷条件を設定することで、効果的な内部欠陥の検出を可能とした。

【0016】この結果、請求項1に係る軸受リングの超音波探傷検査方法によって探傷された軸受リングは、軸受リングの大きさに係わらず該軸受リングの最大せん断応力位置より深いところまで内部欠陥がないことを検査でき、ひいては軸受の内部欠陥について保証を行うことができる。

【0017】請求項2に係る軸受リングの超音波探傷検査方法は、軸受リング及び超音波探傷用探触子を例えば水等の超音波伝達媒体中に配置し、該超音波探傷用探触子から前記軸受リングに超音波を送信して該軸受リングから反射してくる超音波エコーにより前記軸受リングの欠陥を検出する軸受リングの超音波探傷検査方法において、前記超音波探傷用探触子から前記軸受リングに送信する超音波を周波数30MHz以下、好ましくは2〜30MHzとし、且つ、該超音波が送信される前記軸受リングは、焼入れ、焼戻しの熱硬化処理又は浸炭若しくは浸炭窒化、焼入れ、焼戻しの熱硬化処理を行った後に、研削加工を施したものをを用いることを特徴とする。

【0018】この場合、組織の安定化のために熱硬化処理後の軸受リングの結晶粒度を8番(旧オーステナイト

結晶粒度)以上とすることが好ましい。また、超音波探傷法としては、斜角探傷法及び垂直探傷法の両方が適用可能である。

【0019】軸受は製造過程で数種の熱履歴が加わり、したがって、軸受リングには種々の金属組織が生じることとなる。超音波はその金属組織の種類によって、音波の減衰の大小が変わることが知られており(超音波探傷試験A:(社)日本非破壊検査協会編、P158参照)、軸受リングの探傷においても最適な金属組織での探傷を見極めることが必要である。

【0020】軸受リングは製造過程で幾つかの熱履歴を受けることとなるが、例えば軸受鋼を1200°Cの高温に加熱して鍛造により軸受リングを製作する熱間鍛造法においては、鍛造後の軸受リングは自然冷却又はファン冷却によって冷却されることとなる。このときの軸受リングの金属組織は一部にパーライト組織、その他はマルテンサイト組織が存在するなど組織状態はばらばらとなる場合がある。

【0021】また、浸炭や浸炭窒化を行った場合の軸受リングは、浸炭の後の冷却過程で上記と同様に自然冷却又はファン冷却等の熱履歴を受ける。この際の軸受リングの金属組織は軸受鋼の場合に比べて特異であり、浸炭鋼は表面から内部に向かって炭素濃度勾配を持つことから、軸受鋼の場合以上に部分的な特に層をなすような異なった組織形態となる。

【0022】本発明者等はこれらの様な異なった組織形態を持つ軸受リングに対して探傷を行った結果、組織の影響により部分的に超音波の減衰が大きくなってしまい、また、厚みが10mmを越えるような軸受リングについては全断面の探傷は困難であった。

【0023】更に、大きな結晶粒や大小の結晶粒の混粒が存在するため、この結晶粒に音波が反射してエコーとなって検出してしまう林状エコー(欠陥信号付近に林のようにノイズが乱立してS/N比の悪い状態をいう。)が出てしまうなど欠陥エコーとの識別が困難となってしまう。

【0024】ここで、本発明者等は調査研究の結果、軸受リングの探傷に最適な金属組織の形態は、軸受リングに焼入れ、焼戻しの熱硬化処理又は浸炭若しくは浸炭窒化、焼入れ、焼戻しの熱硬化処理を施したマルテンサイト組織とした場合が超音波の減衰も少なく、また、林状エコーの影響も少なくなることを知見した。

【0025】また、超音波の周波数が30MHzを超え、50MHzになると、例え組織を調整した軸受リングといえども、超音波の減衰が大きくなってしまつて軸受リングの全断面の探傷が困難となってしまう。

【0026】軸受には大きな荷重を受けるものもあるため軸受リングは内部深くまで転がりによるせん断応力を受けることとなる。したがって、軸受リングの表面近傍のみならず内部深くまで大きな介在物がないことを検査

する必要があった。

【0027】これらのことから、軸受リングの超音波探傷は30MHz以下の周波数を用いて検査を行うことにした。また、超音波の周波数が2MHz以下では超音波の減衰は低いものの小さな欠陥を検出することが極めて困難なため、周波数は2MHz以上が好ましいこととした。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を説明する。図1は本発明の第1の態様の実施の形態である軸受リングの超音波探傷検査方法に使用する装置の概略図、図2は探傷方向（円周方向）に対して垂直に人工欠陥を設けた試験片の斜視図、図3は図2の試験片について超音波探傷を行った場合の探傷結果を示すグラフ図、図4は探傷方向（円周方向）に対して平行に人工欠陥を設けた試験片の斜視図、図5は図4の試験片について超音波探傷を行った場合の探傷結果を示すグラフ図、図6は表面から所定の深さに探傷方向（円周方向）に対して垂直にφ0.5mmの穴を設けた試験片の断面図、図7は図6の試験片について超音波探傷を行った場合の探傷結果を示すグラフ図、図8は入射角10°で探傷を行った際の表面エコーと欠陥エコーの分離距離と反射エコーの強さとの関係を示すグラフ図、図9は入射角30°で探傷を行った際の表面エコーと欠陥エコーの分離距離と反射エコーの強さとの関係を示すグラフ図、図10は入射角が30°を超える場合の入射角と屈折角の関係を説明するための説明図である。

【0029】まず、超音波探傷検査装置から先に説明する。図1において符号1は超音波伝達媒体としての水が貯留された水槽であり、該水槽1内には軸受リング2としての円すいころ形転がり軸受の外輪及び超音波探傷用探触子3がそれぞれ水に浸漬された状態で配置されている。超音波探傷用探触子3としては、指向性が強く軸受リング2の曲率の影響を受けにくい焦点型探触子を用いている。

【0030】軸受リング2は水槽1内に水平方向に互いに離間配置された二個のブーリ4に載置されており、各ブーリ4及び回転駆動用モータ5のモータ軸に固定されたブーリ6にはベルト7が正三角形形状に巻き掛けられている。

【0031】回転駆動用モータ5はモータ駆動用制御アンプ8を介して制御装置9によって制御されるようになっており、回転駆動用モータ5の駆動により各ブーリ4に載置された軸受リング2が所定の速度で回転するようになっている。なお、制御装置9は、CRT等の表示手段を備えたパーソナルコンピュータ等で構成されている。

【0032】超音波探傷用探触子3は軸受リング2の軸方向に沿って移動可能に配置されたリニアガイド装置10のXYステージ12に探触子取付具13を介して取り

付けられており、取付状態においては軸受リング2の内周面に対向配置されている。超音波探傷用探触子3は超音波探傷装置14からの電圧信号に応じて超音波パルスを軸受リング2の内周面に向けて送信すると共にその反射エコーを受信し、これを電圧信号に変換して超音波探傷装置14に送信する。

【0033】超音波探傷装置14は制御装置9からの指令に基づいて超音波探傷用探触子3に電圧信号からなる指令信号を送信するとともに、送信した信号と受信した信号とを基にして得られた探傷情報を制御装置9に送信し、制御装置9がこれをCRT上に表示する。

【0034】リニアガイド装置10はリニアガイド用コントローラ16によって制御される図示しないサーボモータを介して超音波探傷用探触子3を軸受リング2の軸方向に移動させるようになっており、リニアガイド用コントローラ16は軸受リング2の外周面に設置されたロータリエンコーダ15によって軸受リング2が一回転（360°）したことが検知されると、制御装置9からの指令に基づいてサーボモータを制御して超音波探傷用探触子3を軸受リング2の軸方向に所定寸法移動させる。これにより、軸受リング2の全断面の探傷がなされるようになっている。

【0035】次に、本発明の第1の態様の実施の形態である超音波探傷検査方法を図1～図10を参照して説明する。図1を参照して、軸受リング2として内径350mmの円すいころ軸受の外輪を用い、該軸受リング2を超音波探傷用探触子3としての焦点型探触子（周波数10MHz、振動子径6mm）とともに水槽1内の水に浸漬し、この状態で軸受リング2の軌道面（内周面）の表面から該軸受リング2の最大せん断応力位置よりも深い2mmまでの探傷及びそれよりさらに深い範囲の探傷を上述した軸受リング2の回転と超音波探傷用探触子3の軸受リング2の軸方向の移動により行って該軸受リング2の全断面を探傷する。

【0036】なお、軸受リング2の軌道面表面直下から2mmまでの斜角探傷については水距離（軸受リング2の内周面と超音波探傷用探触子3との距離）を20mmにセットし、それよりさらに深い範囲の垂直探傷については水距離を15mmにセットした。

【0037】まず、軸受リング2の軌道面から2mmまでの深さの探傷について説明すると、図2に示すように、軸受リング2の軌道面表面に探傷方向（円周方向）に対して垂直になるように、長さ10mm、幅0.5mm、深さ0.5mmの人工欠陥30を形成した試験片TP1を作成し、図1の超音波探傷検査装置を用いて超音波探傷用探触子3から送信される超音波の入射角（軌道面に立てた法線に対して円周方向に傾く角度）を5～35°の間で変更して探傷を行った。

【0038】探傷結果を図3に示す。図3から明らかなように、入射角が10～30°の斜角探傷で人工欠陥3

0の検出が可能であり、最も感度のよい探傷条件は入射角を30°とした場合であった。

【0039】また、入射角が10°の場合においても高い探傷感度が得られたが、表面エコーと欠陥エコー（欠陥がある時のみ出る信号）の位置（最大高さの距離）が接近しており、目視での分離は可能であるものの、自動探傷とした場合に分離の判断が困難であるため、両者エコーの距離が十分に分離されている入射角が25～30°の条件が好適である。

【0040】図8に入射角10°、図9に入射角30°にて探傷を行った際に、パソコンCRT上に表示された探傷結果を示す。CRT上では入射角30°より入射角10°の方が表面エコーと欠陥エコーの距離が接近しているのが判る。

【0041】次に、図4に示すように、軸受リング2の軌道面表面に探傷方向（円周方向）に対して平行になるように、長さ10mm、幅0.5mm、深さ0.5mmの人工欠陥40を形成した試験片TP₂を作成し、図1の超音波探傷検査装置を用いて超音波探傷用探触子3から*

$$\sin \theta_s = C_2 / C_1 \cdot \sin i_l \quad \cdots (1)$$

$$\sin \theta_s = 3230 / 1500 \cdot \sin (i_l) \quad \cdots (2)$$

$\theta_s < 90^\circ$

C_1 : 水中での音速1500m/s

C_2 : 鉄中での音速3230m/s

となる。

【0045】超音波探傷用探触子3は発信子と同時に受信子でもあるが、受信の場合（傷信号）は逆経路（発信と同じ経路を逆にだどって）で返ってくる。図3、5、8、9の縦軸に示すエコーの強さは鉄、鋼から水に返ってくるが、返ってくる信号は横波、縦波のどちらでもよく、また、横波と縦波の両方が返ってもよい。

【0046】入射角 i_l がある値以上になると鉄、鋼中の屈折角が90°以上となり、傷信号が表面を走るか或いは表面を反射するだけで超音波探傷用探触子3に戻ってこない。

【0047】上述したように入射角 i_l に対し縦波の屈折角 $\theta_l > 横波の屈折角\theta_s$ であり、しかも θ_l と θ_s のいずれかが戻ってくればよいとすると、 θ_s が返ってくる入射角の限界を考えればよいことになる。

【0048】その時の入射角の限界は理論的には $\theta_s = 90^\circ$ として上記(1)、(2)式より約28°となるが、実際には音波はある程度の幅を持って出されており、30°までは十分に探傷可能になる。したがって、図3及び図5に示すように、入射角が30°を越えたと信号が急激に減衰する。よって斜角探傷の時の入射角の上限は30°となる。

【0049】次に、軸受リング2の軌道面表面直下2mmより深い位置の探傷について説明する。図6に示すように、軸受リング2の軌道面に探傷方向（円周方向）に対して垂直に $\phi 0.5$ mmの穴（人工欠陥）50を深さ※50

*ら送信される超音波の入射角（軌道面に立てた法線に対して円周方向に傾く角度）を5～35°の間で変更して探傷を行った。

【0042】探傷結果を図5に示す。図5から明らかのように、入射角が10～30°の斜角探傷で人工欠陥40の検出は可能であり、最も感度のよい探傷条件は上記同様に入射角を30°とした場合であった。

【0043】また、入射角が10°の場合においても高い探傷感度が得られたが、表面エコーと欠陥エコーの位置（最大高さの距離）が接近しており、上記同様の理由により、両者エコーの距離が十分に分離されている入射角が25～30°の条件が好適である。

【0044】次に、斜角探傷法で入射角が30°を越える場合について述べる。図10を参照して、超音波が入射角 i_l で鉄、鋼である被検査物の中に入ると横波と縦波に分かれ、縦波の屈折角 $\theta_l > 横波の屈折角\theta_s$ となる。水と鉄を超音波が伝わる場合、入射角と屈折角の関係は横波だけでみると、

※3、5、7、9mmの位置に個別に形成したTP₃を作成し、図1に示す超音波探傷検査装置を用いて超音波探傷用探触子3から送信される超音波の入射角（軌道面に立てた法線に対して円周方向に傾く角度）を0～30°の間で変更して探傷を行った。

【0050】探傷結果を図7に示す。図7から明らかのように、各深さの欠陥ともに入射角が0～10°の垂直探傷での検出が好適であり、最も感度のよい探傷条件は、各深さの欠陥とも入射角を0～5°とした場合であった。

【0051】このことから入射角は0～5°がより好ましいことが判る。また、入射角が0°の場合は垂直波の伝播が欠陥に対して最短距離となって表面エコーと欠陥エコーの距離が短くなるため、表面エコーと欠陥エコーの分離の点から少し傾きを持たせた入射角5°が最も好ましい。

【0052】上記の記載から明らかのように、この実施の形態では、従来、軸受リングの軌道面形状が複雑であることから困難であった軸受リング軌道面の超音波探傷が可能となり、軸受リングの表面から内部までの全断面の欠陥を精度良くしかも短時間で検出することができるので、内部欠陥に起因した短寿命はくりを良好に防止することができ、ひいては軸受の内部欠陥を保証することができる。

【0053】

【実施例】軸受リング2として内径350mmの円すいころ軸受の外輪を図1の超音波探傷検査装置にセットし、軸受リング2を回転速度800mm/sで回転させ、軸方向の探傷ピッチを0.6mmとし、300個の

軸受リング2について探傷を行った。

【0054】ここで、軸受リング2の軌道面から2mmまでの深さの探傷は入射角が30°の斜角探傷法で行い、それよりさらに深い範囲の探傷は入射角が5°の垂直探傷法で行った。

【0055】300個の軸受リング2を探傷した結果、3個について欠陥らしきエコーが観察され、一個は表面近傍、二個は内部に観察された。この欠陥部を切断、研削にて詳細に調査したところ、それぞれに幅0.1～0.2mm程度、長さ0.2mm～最大で0.4mmの欠陥が発見され、分析調査の結果、大型の非金属介在物であることが判った。

【0056】次に、本発明の第2の態様の実施の形態である軸受リングの超音波探傷検査方法を図11～図13を参照して説明する。図11は本発明の第2の態様の実施の形態である軸受リングの超音波探傷検査方法を実施した場合の欠陥指数と超音波の周波数との関係を示すグラフ図、図12は寿命試験機の概略を示す断面図、図13は寿命減少率と超音波の周波数との関係を示すグラフ図である。

【0057】この実施の形態では、超音波の減衰及び林状エコーの影響を少なくすべく、焼入れ、焼戻しの熱硬化処理（又は浸炭若しくは浸炭窒化、焼入れ、焼戻しの熱硬化処理）を行って熱処理後の結晶粒度が8番以上となるマルテンサイト組織とした後に、研削加工を施して軸受リング2としての円すいころ軸受HR32017XJの外輪を作成し、図1の超音波探傷検査装置で各種の周波数の超音波探傷用探触子3を用いて300個の軸受リング2について2, 5, 10, 30, 50MHzと低い周波数から順に全断面の探傷を行った。

【0058】この際、それぞれの周波数で欠陥が検出された軸受リング2は取り除き、欠陥が検出されなかった軸受リング2のみを次の大きな周波数での探傷検査へと使用した。

【0059】なお、超音波探傷法としては、斜角探傷法及び垂直探傷法の両方を用いることができるが、この実施の形態では斜角探傷法を用いた。図11に探傷結果を示す。

【0060】図11の縦軸の欠陥指数は周波数2MHzで探傷を行った際に欠陥が発見された軸受リング2の内での欠陥の平均数を1として、それぞれの周波数5, 10, 30, 50MHzで発見された軸受リング2の欠陥数の平均値を欠陥指数として示したものである。

【0061】図11から明らかなように、探傷にて欠陥が検出された軸受リング2のなかでのリング一個あたりに存在する欠陥数は、周波数30MHzを越えると急激に増えることが分かる。

【0062】周波数特性より、低い周波数にて検出される欠陥は比較的大きな欠陥しか検出できない。周波数を高くした場合は大きい欠陥はもとより小さな欠陥までも

検出することができることから、軸受リング2には30MHzを越えた周波数で検出できるレベルの小さな介在物等の欠陥が数多く存在することがよく分かる。

【0063】次に、各周波数にて欠陥が検出された軸受リング2を使用して軸受を製作し、図12に示す寿命試験機を用いて以下の条件で寿命試験を行った。

軸受：円すいころ軸受HR32017XJ

ラジアル荷重：35750N

アキシヤル荷重：15680N

内輪回転数：1500rpm

潤滑：グリス

寿命評価は各々の周波数にて欠陥が検出された軸受リング2を寿命試験して各々のL₁₀寿命を求め、周波数50MHzの条件にて欠陥が検出された軸受リング2のL₁₀寿命を100とした場合の該L₁₀寿命に対する30MHz以下の周波数で欠陥が検出された軸受リング2のL₁₀寿命の寿命減少率を求めた。試験結果を図13に示す。

【0064】図13から明らかなように、30MHz以下の周波数で欠陥が検出された軸受リング2は50MHzの周波数で欠陥が検出された軸受リング2に比べて大幅に寿命が低下しているのが分かる。

【0065】なお、周波数が2MHz以下でも探傷は可能であるが、軸受リング2中の小さな欠陥を検出することが極めて困難なため、周波数は2～30MHzが好ましい。

【0066】上記の記載から明らかなように、この実施の形態ではマルテンサイト組織の軸受リングに対して30MHz以下の周波数で超音波探傷を行うことにより、軸受リングの表面から内部までの全断面の欠陥を精度良くしかも短時間で検出することができるので、軸受の寿命低下に大きく影響を及ぼす介在物等の欠陥を効果的に検出することが可能になり、この結果、内部欠陥に起因した短寿命はくりを良好に防止することができ、ひいては軸受リングの内部欠陥を保証することができる。

【0067】

【発明の効果】上記の説明から明らかなように、本発明によれば、軸受リングの表面から内部までの全断面の欠陥、特に軸受リングの内部の大きな非金属介在物の存在を精度良く検出することができるので、内部欠陥に起因した短寿命はくりを良好に防止することができ、ひいては軸受の内部欠陥を保証することができるという効果が得られる。

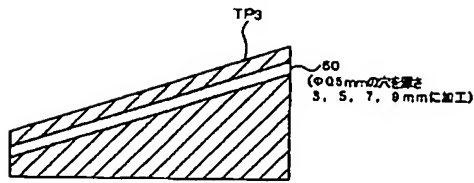
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の態様の実施の形態である軸受リングの超音波探傷検査方法に使用する装置の概略図である。

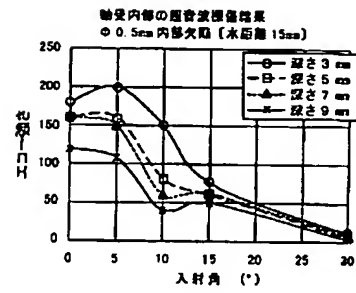
【図2】探傷方向（円周方向）に対して垂直に人工欠陥を設けた試験片の斜視図である。

【図3】図2の試験片について超音波探傷を行った場合の探傷結果を示すグラフ図である。

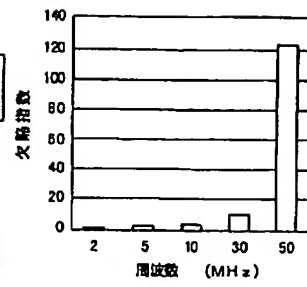
【図6】



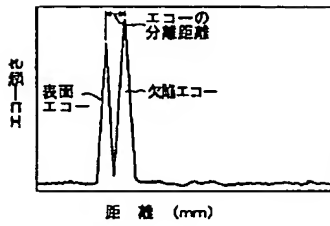
【図7】



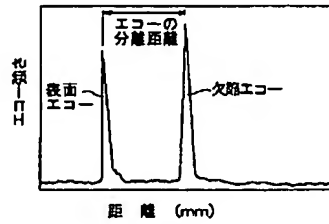
【図11】



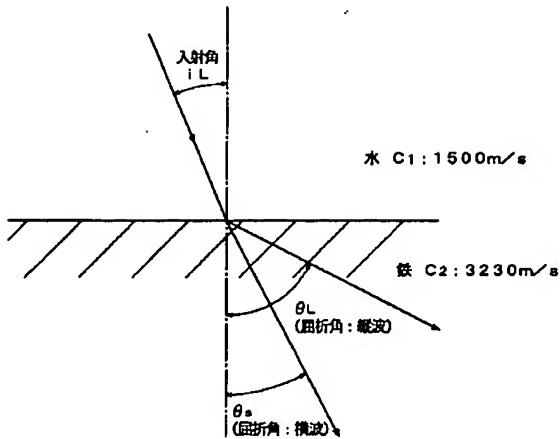
【図8】



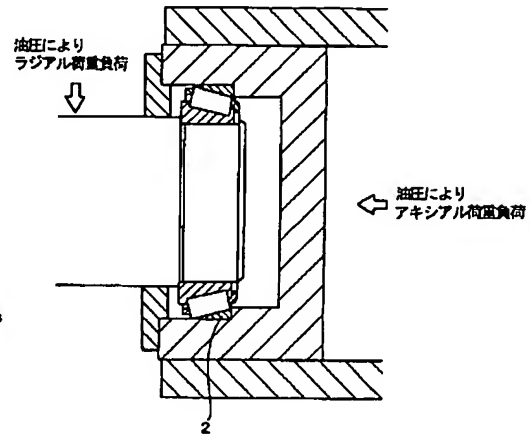
【図9】



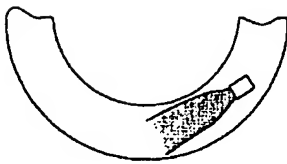
【図10】



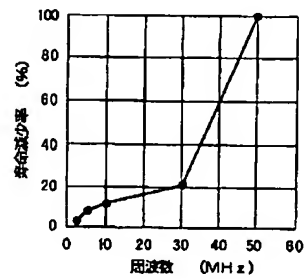
【図12】



【図14】



【図13】



11

【図4】探傷方向（円周方向）に対して平行に人工欠陥を設けた試験片の斜視図である。

【図5】図4の試験片について超音波探傷を行った場合の探傷結果を示すグラフ図である。

【図6】表面から所定の深さに探傷方向（円周方向）に対して垂直にφ0.5mmの穴を設けた試験片の断面図である。

【図7】図6の試験片について超音波探傷を行った場合の探傷結果を示すグラフ図である。

【図8】入射角10°で探傷を行った際の表面エコーと欠陥エコーの分離距離と反射エコーの強さとの関係を示すグラフ図である。

【図9】入射角30°で探傷を行った際の表面エコーと欠陥エコーの分離距離と反射エコーの強さとの関係を示すグラフ図である。

【図10】入射角が30°を超える場合の入射角と屈折角の関係を説明するための説明図である。

【図11】本発明の第2の態様の実施の形態である軸受リングの超音波探傷検査方法を実施した場合の欠陥指数と超音波の周波数との関係を示すグラフ図である。

12

【図12】寿命試験機の概略を示す断面図である。

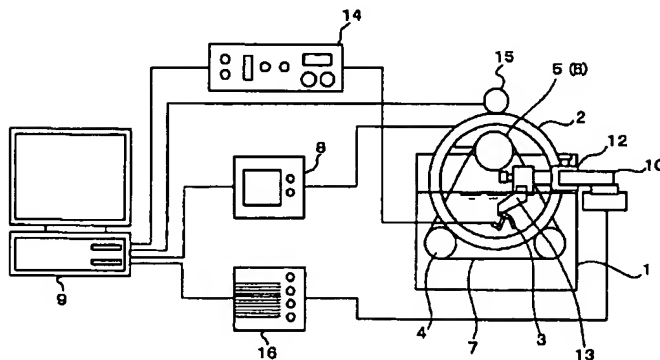
【図13】寿命減少率と超音波の周波数との関係を示すグラフ図である。

【図14】円すいころ形転がり軸受の外輪を平面に展開した図であり、円筒面のように矩形にならないため表面波のみでは探傷しにくいことを説明するための説明図である。

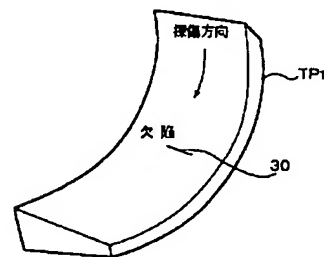
【符号の説明】

- 1…水槽
- 2…軸受リング
- 3…超音波探傷用探触子
- 5…回転駆動用モータ
- 7…ベルト
- 8…モータ駆動用制御アンプ
- 9…制御装置
- 10…リニアガイド装置
- 14…超音波探傷装置
- 15…ロータリエンコーダ
- 16…リニアガイド用コントローラ

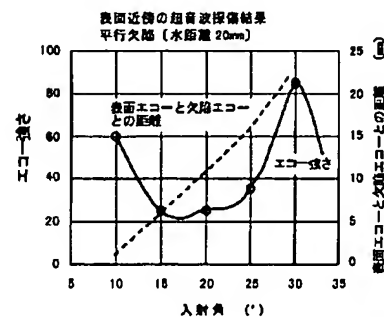
【図1】



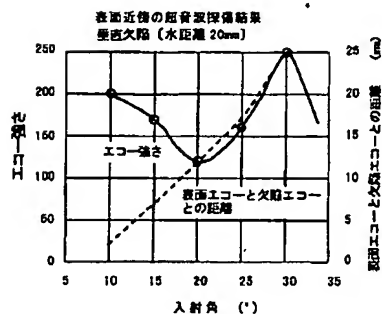
【図2】



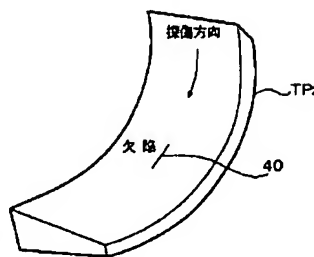
【図5】



【図3】



【図4】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.